

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-183858

(43) 公開日 平成11年(1999) 7月9日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>

G02F 1/035

識別記号

F I

G02F 1/035

審査請求 有 請求項の数 9 O L (全7頁)

(21) 出願番号 特願平9-354836

(22) 出願日 平成9年(1997) 12月24日

(71) 出願人 000183266

住友大阪セメント株式会社

東京都千代田区神田美土代町1番地

(72) 発明者 菅又 徹

千葉県船橋市豊富町585番地 住友大阪セメント株式会社新規技術研究所内

(72) 発明者 橋本 義浩

千葉県船橋市豊富町585番地 住友大阪セメント株式会社新規技術研究所内

(72) 発明者 木内 和昌

千葉県船橋市豊富町585番地 住友大阪セメント株式会社光電子事業部内

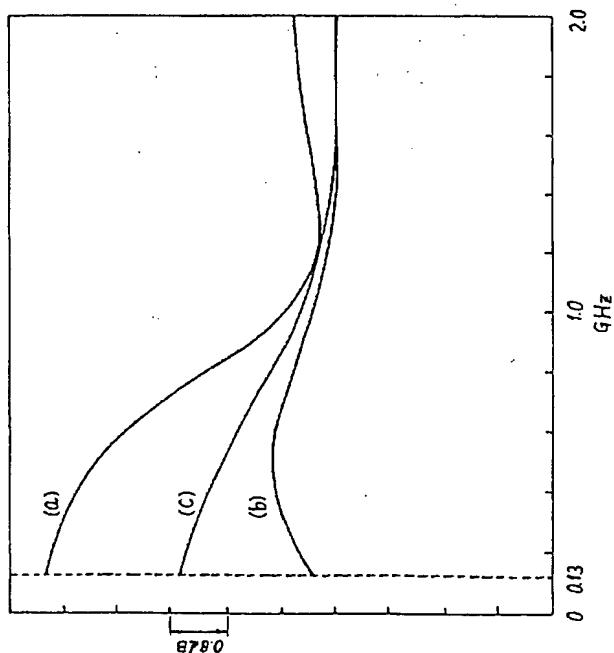
(74) 代理人 弁理士 杉村 暁秀 (外8名)

(54) 【発明の名称】 進行波型光変調器及び光変調方法

(57) 【要約】

【課題】 高速で光変調を行った場合においても、光変調特性の劣化の少ない進行波型光変調器及び光変調方法を提供する

【解決手段】 少なくとも電気光学効果を有する基板に形成された光導波路と、この光導波路の直上又は近傍に形成され、前記光導波路中を進行する光に電気信号を印加して、前記光を変調するための電極とを具える進行波型光変調器において、好ましくは、前記電極の終端部に接続した終端抵抗の抵抗値、あるいは電極パッドのインピーダンスを、前記電極の特性インピーダンスと異なる値とすることにより、前記電気信号と逆向きの電気信号を生じさせた後、この逆向きの電気信号と前記電気信号とを合成し、この合成した電気信号を用いて光変調を行う。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 少なくとも電気光学効果を有する基板に形成された光導波路と、この光導波路の直上又は近傍に形成され、前記光導波路中を進行する光に電気信号を印加して、前記光を変調するための電極とを具える進行波型光変調器において、前記電気信号と前記電気信号と逆向きの電気信号とを合成し、この合成された電気信号により前記光導波路中を進行する光の変調を行うことを特徴とする進行波型光変調器。

【請求項 2】 前記電気信号と逆向きの電気信号は、前記電極の特性インピーダンスと異なる値の抵抗を前記電極の終端部に設置することにより発生させることを特徴する、請求項 1 に記載の進行波型光変調器。

【請求項 3】 前記電極の終端部に設置する抵抗の値は、前記電極の特性インピーダンスよりも小さいことを特徴とする請求項 2 に記載の進行波型光変調器。

【請求項 4】 前記電気信号と逆向きの電気信号は、前記電極を構成する信号電極の終端部のインピーダンスを、前記電極の特性インピーダンスと異なる値に設定することにより発生させることを特徴とする、請求項 1 に記載の進行波型光変調器。

【請求項 5】 前記信号電極の終端部のインピーダンスは、前記電極の特性インピーダンスよりも小さいことを特徴とする請求項 4 に記載の進行波型光変調器。

【請求項 6】 前記少なくとも電気光学効果を有する基板は、ニオブ酸リチウムであることを特徴とする請求項 1 ～ 5 にいずれかに記載の進行波型光変調器。

【請求項 7】 少なくとも電気光学効果を有する基板に形成された光導波路中を進行する光に対して、前記光導波路の直上又は近傍に形成された電極から電気信号を印加して、前記光導波路中を進行する光を変調する進行波型光変調方法において、前記電気信号と前記電気信号と逆向きの電気信号とを合成し、この合成された電気信号により前記光導波路中を進行する光の変調を行うことを特徴とする進行波型光変調方法。

【請求項 8】 前記電気信号と逆向きの電気信号は、前記電極の特性インピーダンスと異なる値の抵抗を前記進行波型光変調器の終端部に設置することにより発生させることを特徴する、請求項 7 に記載の進行波型光変調方法。

【請求項 9】 前記電気信号と逆向きの電気信号は、前記電極を構成する信号電極の終端部のインピーダンスを、前記電極の特性インピーダンスと異なる値に設定することにより発生させることを特徴とする、請求項 7 に記載の進行波型光変調器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】 本発明は、進行波型光変調器

及び進行波型光変調方法に関し、さらに詳しくは、高速光通信やケーブルテレビ (CATV) などに有効に使用することのできる、進行波型光変調器及び進行波型光変調方法に関する。

## 【 0 0 0 2 】

【従来の技術】 近年の光通信分野においては、半導体ダイオードレーザの直接変調に代わって、ニオブ酸リチウム (LiNbO<sub>3</sub> : 以下、LN と略す場合がある) などの電気光学効果を有する基板に光導波路を形成し、さらに、この光導波路の直上又は近傍に電極を形成した、いわゆる進行波型の高速外部光変調器が用いられるようになってきた。

【 0 0 0 3 】 図 1 は、このような進行波型光変調器の概略を示した図である。基板 9 は、電気光学効果を有する材料、例えば、LN から構成される。光導波路 3 は、いわゆるマッハツエンダー型光導波路であり、基板 9 上に、例えばチタン (Ti) などを堆積させた後、熱拡散させて形成する。また、図 1 には示していないが、光導波路 3 中を伝搬する光の電極層への吸収を少なくするため、酸化シリコン (SiO<sub>2</sub>) などからなるバッファ層を、基板 9 上に形成することもできる。

【 0 0 0 4 】 接地電極 4 及び信号電極 5 は、金 (Au) などの金属から形成する。また、図 1 では、入射光の余分な成分を除去して偏光を揃えるために、ラミポール偏光子 2 を設けている。図 1 に示す進行波型光変調器を用いた高速光変調は、以下のようにして行う。入射光は、入射側光ファイバ 1 から入射させ、ラミポール偏光子 2 を通過させた後、光導波路 3 中を 2 分割して進行させる。

【 0 0 0 5 】 一方、信号電極 5 には、駆動ドライバ 7 から給電ケーブル 6 を通して、マイクロ波帯域の高周波交流電圧を印加する。この電圧は、信号電極 5 からの電気信号として、光導波路 3 に印加される。

【 0 0 0 6 】 電気信号の印加により光導波路の屈折率に変化するため、導波路中を進行する光の位相もこの屈折率変化に起因して変化する。したがって、分岐した各光導波路 3 中を進行してきた光は、互いの位相が異なるために、光導波路 3 の終端において再び結合すると、その合成された光は互いに干渉し合って、互いの光強度成分を打ち消し合う。

【 0 0 0 7 】 これにより、出射側光ファイバ 10 を通って得られる出射光の光強度は、入射光の光強度よりも小さくなり、光変調がなされる。このようにマイクロ波を用いた高速光変調の場合においては、駆動ドライバ 7 から信号電極 5 に伝送される高周波交流電圧が最大となるように、接地電極 4 及び信号電極 5 のインピーダンス (特性インピーダンス) を、駆動ドライバ 7 のインピーダンスに整合するように設定する。また、信号電極 5 中を伝送する前記高周波交流電圧が最大となるように、図 1 に示す進行波型光変調器の出力側には、前記特性イン

10

20

30

40

50

ピーダンスと同じ値の抵抗値を有する終端抵抗 8 を設置し、インピーダンス整合を取る。

【0008】したがって、駆動ドライバ 7 として、従来から高速光変調に使用されている汎用の駆動ドライバを用いた場合においては、そのインピーダンスが 50 Ω であるため、前記電極の特性インピーダンス及び終端抵抗 8 の抵抗値も 50 Ω に設定する必要があった。また、進行波型光変調器の駆動電圧を下げるなどの目的で、前記特性インピーダンスを 25 Ω に設定した場合は、駆動ドライバ 7 のインピーダンス及び終端抵抗 8 の抵抗値も 25 Ω に設定する必要があった。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】図 2 は、進行波型光変調器における従来の光変調特性を示す図である。図 2 から明らかなように、信号電極 5 に印加される高周波交流電圧の周波数が高くなるにつれて、光導波路 3 中を伝搬する光強度変調成分が減少する。すなわち、進行波型光変調器における従来の光変調方法では、変調周波数が高くなる程、光変調特性が劣化していた。

【0010】したがって、高速光通信やケーブルテレビなどにおいて、高速でパルスパターンを伝送する場合、周波数の高いパルスパターン成分の角の部分が丸くなって劣化し、パルス形状が矩形な状態からずれてしまっていた。このため、特に、高速デジタル通信などの伝送特性上好ましくない問題を生じていた。

【0011】本発明の目的は、上記問題に鑑み、高速で光変調を行った場合においても、光変調特性の劣化の少ない進行波型光変調器及び光変調方法を提供することである。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、上記問題に鑑みて鋭意検討した結果、駆動ドライバからの進行波型電極に入力される高周波交流電圧の電気信号と逆向きに伝搬する電気信号を生じさせ、この電気信号と駆動ドライバからの電気信号を合成し、この合成した電気信号を用いて光変調を行うことにより上記問題を解決できることを見出し本発明をするに至った。すなわち、本発明は、少なくとも電気光学効果を有する基板に形成された光導波路と、この光導波路の直上又は近傍に形成され、前記光導波路中を進行する光に電気信号を印加して、前記光を変調するための電極とを具える進行波型光変調器において、前記電気信号と前記電気信号と逆向きの電気信号とを合成し、この合成された電気信号により前記光導波路中を進行する光の変調を行うことを特徴とする進行波型光変調器である。また、本発明は、少なくとも電気光学効果を有する基板に形成された光導波路中を進行する光に対して、前記光導波路の直上又は近傍に形成された電極から電気信号を印加して、前記光導波路中を進行する光を変調する進行波型光変調方法において、前記電気信号と前記電気信号と逆向きの電気信号と

を合成し、この合成された電気信号により前記光導波路中を進行する光の変調を行うことを特徴とする進行波型光変調方法である。

【0013】以下、図面を参照しながら本発明について説明する。図 3 は、光導波路中を進行する光と逆向きの電気信号のみを用いた場合における、進行波型光変調器の光変調特性を示したものである。尚、理解を容易にすべく、光強度変調成分は誇張して表している。図 3 から明らかなように、このような逆向きの電気信号によっても光強度変調成分を有し、入射光信号を変調できることが分かる。

【0014】図 4 は、駆動ドライバからの高周波交流電圧の電気信号と、この電気信号と逆向きの電気信号とを合成してなる電気信号を用いた場合における、進行波型光変調器の光変調特性を示したものである。

【0015】図 4 (a) は、図 3 に示した逆向きの電気信号による光強度変調成分を反転させて、いわゆる差分を取った場合の光変調特性を示したものであり、図 4

(b) は、図 3 に示した逆向きの電気信号による光強度変調成分をそのまま重畳させた場合の光変調特性を示したものである。

【0016】図 4 (a) では、高周波交流電圧（電気信号）の周波数に対して、光強度変調成分はフラットな状態を呈する。したがって、周波数の高い電気信号を用いて高速の光変調を実施した場合においても、光変調を有効に行うことができる。

【0017】一方、図 4 (b) では、光強度変調成分が全体的に増加する。したがって、電気信号の使用周波数領域が、前記光強度変調成分よりも全体的に増加した領域において使用する場合、有効に光変調を行うことができる。

【0018】以上、本発明にしたがって、駆動ドライバからの高周波交流電圧の電気信号と逆向きの電気信号を使用して光変調を実施することにより、高速光変調を実施することができる。

【0019】

【発明の実施の形態】以下、本発明を、図面を参照しながら、発明の実施の形態に則して詳細に説明する。本発明においては、図 1 と同様の進行波型光変調器を使用することができる。駆動ドライバ 7 からの高周波交流電圧の電気信号と逆向きの電気信号は、前記駆動ドライバ 7 とは別の独立した駆動ドライバを使用する方法及び進行波型光変調器内にインピーダンス不整合を生じさせる方法によって発生させることができるが、前記逆向きの電気信号を簡易に発生させることができるという理由から、後者のインピーダンス不整合を生じさせる方法を用いることが好ましい。

【0020】インピーダンス不整合による前記逆向きの電気信号の発生は具体的には以下のようにして行う。すなわち、接地電極 4 及び信号電極 5 の特性インピーダン

スト、これらの接地電極 4 及び信号電極 5 の終端部におけるインピーダンスと異なる値に設定することにより、この終端部において駆動ドライバ 7 からの電気信号が反射し、前記電気信号と逆向きの電気信号を得ることができるものである。

【 0 0 2 1 】例えば、図 1 における信号電極 5 の終端部に相当する電極パッド 1 1 のインピーダンス、あるいは図 1 における終端抵抗 8 の抵抗値を、接地電極 4 及び信号電極 5 の特性インピーダンスと異なる値に設定する

$$\Gamma = (Z_0 - Z_L) / (Z_0 + Z_L) \quad (1)$$

ここで、 $Z_0$  は接地電極 4 及び信号電極 5 の特性インピーダンスを、 $Z_L$  は接地電極 4 及び信号電極 5 の終端部におけるインピーダンスあるいは抵抗値を表す。

【 0 0 2 3 】(1) 式において、 $Z_0 > Z_L$  の場合、すなわち、前記終端部のインピーダンスあるいは抵抗値が前記特性インピーダンスよりも大きい場合、反射係数は正の値をとる。このように反射係数が正の値を示すと、逆向きの電気信号は、駆動ドライバ 7 からの電気信号である高周波交流電圧と同じ符号の高周波交流電圧を有する。

【 0 0 2 4 】例えば、駆動ドライバ 7 から +V<sub>0</sub> の値の高周波交流電圧の電気信号が接地電極 4 及び信号電極 5 に印加された場合、前記終端部で反射して得られる逆向きの電気信号は、その絶対値こそ異なるものの、前記電気信号と同じプラスの値を有する高周波交流電圧として作用する。

【 0 0 2 5 】同様に、 $Z_0 < Z_L$  の場合、すなわち、前記終端部のインピーダンスあるいは抵抗値が前記特性インピーダンスよりも小さい場合、反射係数は負の値を取る。したがって、例えば、駆動ドライバ 7 から +V<sub>0</sub> の値の高周波交流電圧の電気信号が接地電極 4 及び信号電極 5 に印加された場合、前記終端部で得られる逆向きの電気信号は、前記電気信号の高周波交流電圧と異なっており、マイナスの値を有する高周波交流電圧として作用する。

【 0 0 2 6 】 $Z_0 > Z_L$  の場合は、上述したように、駆動ドライバ 7 からの電気信号と逆向きの電気信号とが同じ符号を有するため、図 2 に示す前記電気信号による光強度変調成分と、図 3 に示す前記逆向きの光強度変調成分とが重畳して、図 4 (b) に示すような光変調特性を示す。

【 0 0 2 7 】一方、 $Z_0 < Z_L$  の場合は、駆動ドライバ 7 からの電気信号と逆向きの電気信号とが異なる符号を有するため、図 2 に示す前記電気信号による光強度変調成分と、図 3 に示す前記逆向きの光強度変調成分とが互いに打ち消し合っており、いわゆる差分を取った形を呈するので、図 4 (a) に示すような光変調特性を示す。

【 0 0 2 8 】図 4 (a) では、光強度変調成分の絶対値的な大きさは減少しているものの、この大きさは、入力光量を大きくすることによって、自在に大きくすること

方法、及び図 1 の終端抵抗 8 の代わりに、駆動ドライバ 7 と独立した駆動ドライバを設置し、印加電気信号のタイミングを調整する方法により実施することができる。前記逆向きの電気信号を簡易に発生させることができ、また装置の複雑化を防止するという観点からは、前者の方法を用いることが好ましい。

【 0 0 2 2 】接地電極 4 及び信号電極 5 の終端部における電気信号の反射の度合いは、下記 (1) 式に示すような反射係数  $\Gamma$  を用いて評価することができる。

ができる。したがって、図 4 (b) に比較して図 4

(a) の方が電気信号の周波数依存性が小さいため、より周波数の高い電気信号で光変調を実施した場合においても、光強度変調成分の劣化が少ない。

【 0 0 2 9 】すなわち、 $Z_0 < Z_L$  の場合に相当する、前記終端部のインピーダンスあるいは抵抗値が、前記特性インピーダンスよりも小さい場合の方が好ましい。また、上記 (1) 式で示される反射係数の絶対値が大きいほど、前記逆向きの電気信号の信号レベルが大きくなり、図 3 に示される光強度変調成分の強度が増す。したがって、図 4 に示す進行波型光変調器の光強度変調成分に対する前記逆向きの電気信号の影響が大きくなる。しかしながら、逆向きの電気信号の影響が大きすぎると、光変調特性が大きく変化してしまうため、かえってパルス伝送特性が劣化してしまう。

【 0 0 3 0 】本発明者らは、おおむね  $|\Gamma| < 0.5$  ( $|\Gamma| \neq 0$ ) であれば変調特性は良好であることを見出した。さらには、 $|\Gamma| \leq 0.3$  の場合、より好ましい光変調特性となる。しかし、 $|\Gamma|$  が小さすぎるとクラッタな光変調特性が得られなくなり、本発明の効果は期待できない。実験によれば、 $0.05 \leq |\Gamma|$  であれば本発明の効果が期待できる。

【 0 0 3 1 】以上の理由から、前記反射係数の大きさ  $|\Gamma|$  は、 $|\Gamma| < 0.5$  ( $|\Gamma| \neq 0$ ) であることが好ましく、さらには、 $0.05 \leq |\Gamma| \leq 0.3$  であることが好ましい。

【 0 0 3 2 】

【実施例】以下、本発明を実施例に則してさらに詳述する。

#### 実施例 1

本実施例では、上記 (1) 式において、 $Z_0 > Z_L$  の場合、すなわち、接地電極 4 及び信号電極 5 の終端部におけるインピーダンスが、接地電極 4 及び信号電極 5 の特性インピーダンスよりも大きい場合について説明する。基板として、ニオブ酸リチウム基板 (LN 基板) を用い、この基板の Z 面上にフォトリソグラフィ技術を用いて導波路パターンを形成した後、真空蒸着法により金属チタンを 800 Å に堆積させ、1000℃で10時間加熱して、この金属チタンを基板中に拡散させ、図 1 に示すような幅 7 μm のマッハツエンダー型の光導波路 3

20

30

40

50

を形成した。続いて、図 1 には示していないが、真空蒸着法を用いることにより、この基板上に、バッファ層としての酸化シリコン ( $\text{SiO}_2$ ) を  $0.4 \mu\text{m}$  の厚さに形成した。次に、前記 LN 基板上にチタンと金 (Au) からなる合金層を、真空蒸着法により下地層として約  $2000 \text{ \AA}$  の厚さに形成した後、さらに電気メッキ法を用いて  $8 \mu\text{m}$  の厚さに形成する。その後、ケミカルエッチング法によって余分な合金層を除去し、図 1 に示すような幅  $30 \mu\text{m}$ 、長さ  $2 \text{ cm}$  の信号電極 5 を形成し、さらに、間隔  $10 \mu\text{m}$  で接地電極 4 を形成した。その後、光ファイバを入射側及び出射側に設け、接地電極 4 及び信号電極 5 に給電ケーブル 6 及び駆動ドライバ 7 を接続した後、接地電極 4 をグランドに落とし、さらにラミポール偏光子 2 及び抵抗値  $51 \Omega$  の終端抵抗 8 を接続して、図 1 に示すような進行波型光変調器を製造した。この進行波型光変調器の接地電極 4 及び信号電極 5 の特性インピーダンスを、いわゆる TDR 法によって測定したところ、 $25 \Omega$  のインピーダンス値を示した。さらに、この進行波型光変調器の光変調特性を光コンポネントアナライザにより測定したところ、図 5 (a) に示すような光変調特性を示した。

#### 【0033】実施例 2

本実施例では、上記 (1) 式において、 $Z_1 < Z_0$  の場合、すなわち、接地電極 4 及び信号電極 5 の終端部におけるインピーダンスが、接地電極 4 及び信号電極 5 の特性インピーダンスよりも小さい場合について説明する。進行波型光変調器は、抵抗値  $17 \Omega$  の終端抵抗 8 を用いた以外、上記実施例 1 と同様にして製造した。この進行波型光変調器の光変調特性を上記実施例 1 と同様にして測定したところ、図 5 (b) に示すような光変調特性を示した。

#### 【0034】比較例

本比較例では、 $Z_1 = Z_0$  の場合、すなわち、進行波型光変調器の従来の光変調方法である、接地電極 4 及び信号電極 5 の終端部におけるインピーダンスと、接地電極 4 及び信号電極 5 の特性インピーダンスとが等しい場合について説明する。接地電極 4 及び信号電極 5 の特性インピーダンスと同じ抵抗値である、 $25 \Omega$  の終端抵抗 8 を用いた以外は、上記実施例 1 と同様にして進行波型光変調器を製造した。この進行波型光変調器の光変調特性を上記実施例 1 と同様にして測定したところ、図 5

(c) に示すような光変調特性を示した。図 5 (a) 及び (c) に示すように、実施例 1 の  $Z_1 > Z_0$  の場合においては、駆動ドライバ 7 からの電気信号による光強度変調成分と、逆向きの電気信号による光強度変調成分とが重畳しているため、比較例に示す  $Z_1 = Z_0$  の従来の光変調方法に比較して、光強度変調成分が全体として増加していることが分かる。特に、 $1.2 \text{ GHz}$  以下の周波数の比較的低い部分で増加している。一方、図 5

(b) 及び (c) に示すように、実施例 2 の  $Z_1 < Z_0$  の

場合においては、駆動ドライバ 7 からの電気信号による光強度変調成分と、逆向きの電気信号による光強度変調成分とが打ち消し合って、いわゆる差分を取った状態を呈するため、従来の光変調方法である比較例の場合に比較して、光強度変調成分としては全体的に減少する。しかしながら、光強度変調成分の電気信号の周波数依存性は小さくなり、光強度変調成分は、電気信号の広い周波数帯域においてフラットな状態を呈することが分かる。

【0035】したがって、本発明の進行波型光変調器及び光変調方法を用いることにより、光変調特性を大きく劣化させることなく、高速光変調を行うことができる。上記実施例では、いずれも終端抵抗 8 の抵抗値を変化させることによって、逆向きの電気信号を生ぜしめる場合について示したが、上述したように、信号電極 5 の終端部に相当する電極パッド 11 のインピーダンスを変化させることによっても実施することができる。この場合は、例えば、上記実施例で示した信号電極 5 の電極パッド 11 に相当する部分の幅を  $1300 \mu\text{m}$  とし、かつ電極パッド 11 の部分における接地電極 4 との間隔を  $700 \mu\text{m}$  とすることによって、インピーダンスが約  $40 \Omega$  の電極パッドを形成することができる。

#### 【0036】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の進行波型光変調器及び光変調方法を用いることにより、電気信号の変調周波数を高くした場合においても、光強度変調成分の劣化が少ない光変調特性を特性を得ることができる。したがって、高速光通信やケーブルテレビなどの高速光変調が必要とされる分野において、極めて有効な進行波型光変調器及び光変調方法を提供することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】 進行波型光変調器の概略を示した図である。

【図 2】 進行波型光変調器の従来の光変調特性を示した図である。

【図 3】 逆向きの電気信号を用いた場合における、進行波型光変調器の光変調特性を示した図である。

【図 4】 合成された電気信号を用いた場合における、進行波型光変調器の光変調特性を示す図である。

【図 5】 本発明の実施例における進行波型光変調器の光変調特性を示す図である。

#### 【符号の説明】

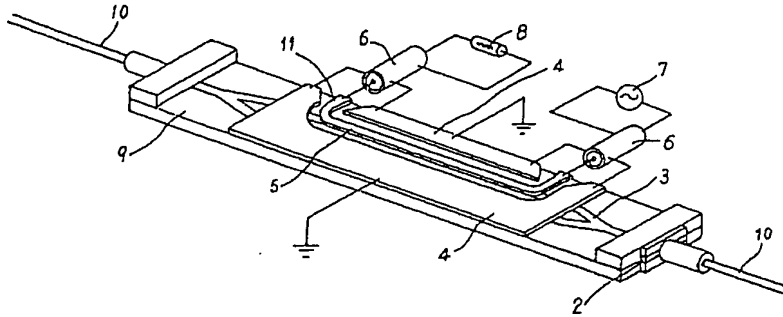
- 1 入射側光ファイバ
- 2 ラミポール偏光子
- 3 光導波路
- 4 接地電極
- 5 信号電極
- 6 給電ケーブル
- 7 駆動ドライバ
- 8 終端抵抗

9 基板

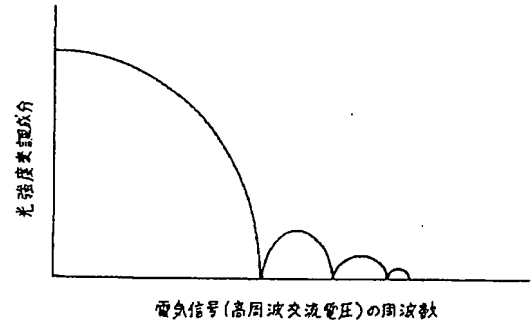
11 電極パッド

10 出射側光ファイバ

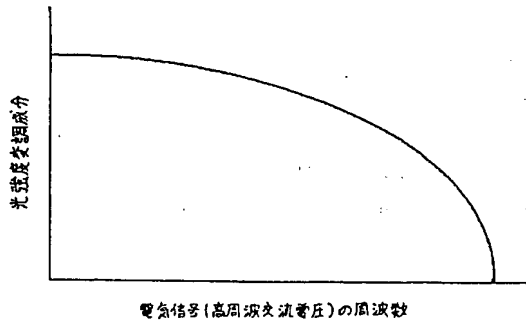
【図 1】



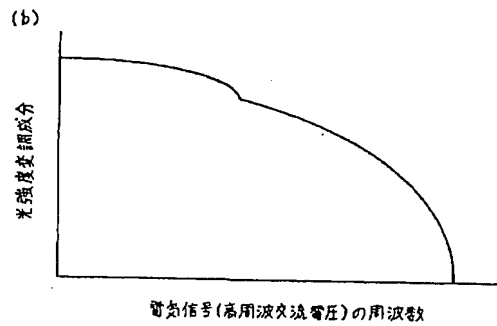
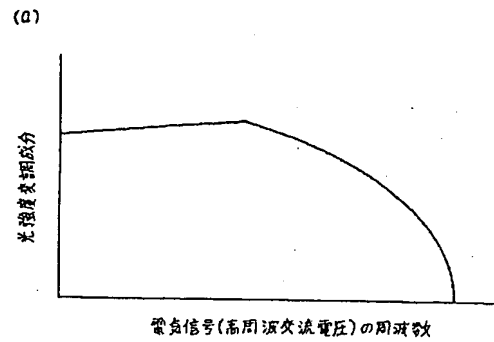
【図 3】



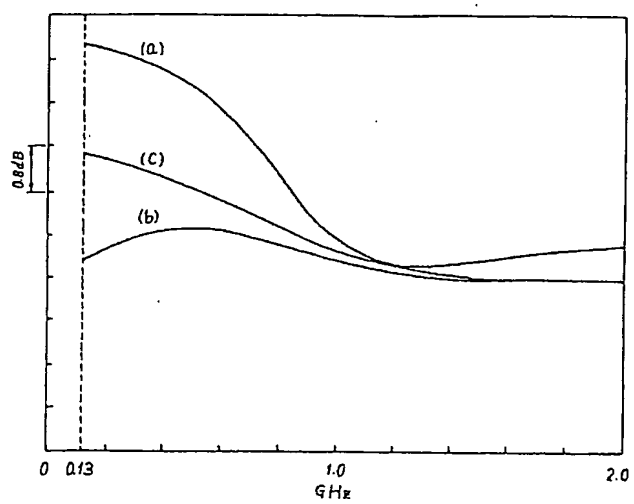
【図 2】



【図 4】



【図 5】



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**